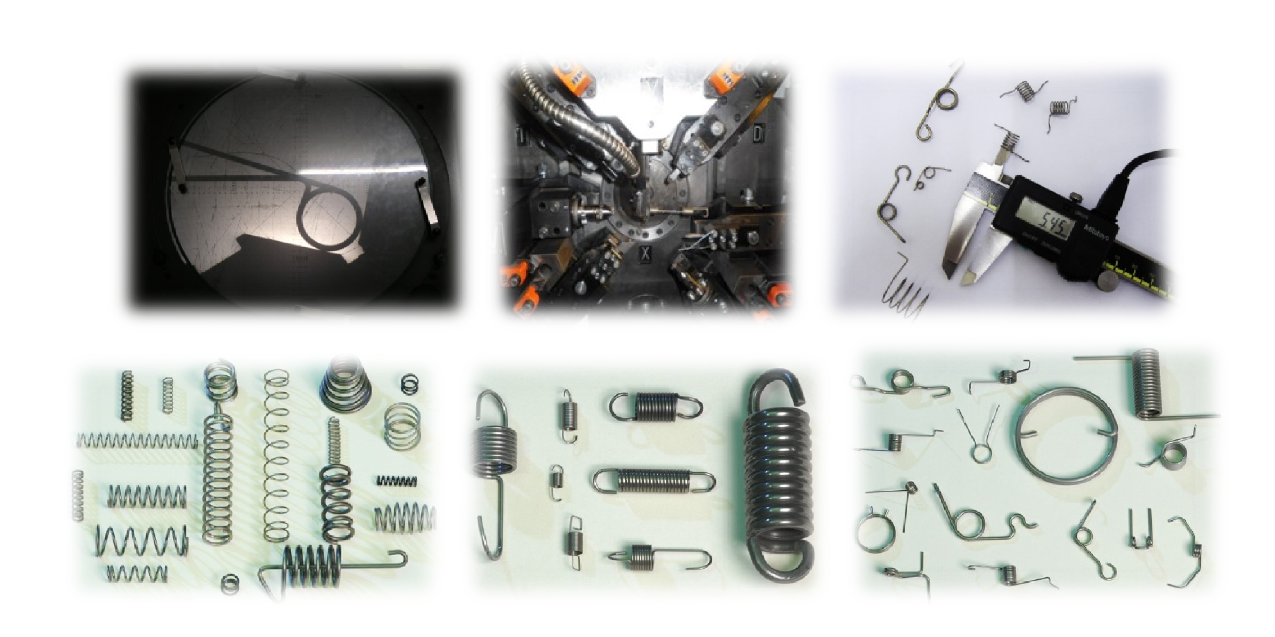


Federnfibel

Technische Informationen für Anwender und Konstrukteure
Technische Federn - Herstellung und Berechnung

Technische Publikation von Max Nüsser
Co-Autoren: Christian Neumann & Fabian Kleine





Reiner Schmid
Produktions GmbH
Technische Federn und Drahtbiegeteile
Neptunstraße 50 – 54 42699 Solingen
Fon: 0212/320705 Fax: 0212/320823
Info@schmid-federn.de www.schmid-federn.de



1. Auflage 2010

Alle in dieser Publikation enthaltenen Angaben, Daten und Abbildungen wurden nach bestem Wissen erstellt und von den Autoren mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Gleichwohl sind Fehler nicht vollständig auszuschließen. Daher wird keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für mögliche Fehler oder deren Folgen seitens der Autoren, bzw. der Inhaber der Urheberrechte übernommen.

Die in dieser Publikation wiedergegebenen Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. können auch ohne besondere Kennzeichnung Marken sein und als solche den gesetzlichen Bestimmungen unterliegen.



Inhaltsverzeichnis

Deckblatt 1
Urheberrecht 2
Inhaltsverzeichnis 3

1. **Historische Federentwicklung** 4
2. **Was ist eine Feder** 5
3. **Wo werden Federn eingesetzt** 6
4. **Federarten** 7
5. **Federstähle** 8
6. **Nirostähle** .... 9 - 10
7. **Anlassen von Federn** 11
8. **Qualitätsprüfungen am Material** 12
9. **Herstellung von Federn** 13
10. **Federkennlinien** .... 14 - 15
11. **Berechnung von Druckfedern** .... 16 - 17
12. **Berechnung von Zugfedern** .... 18 - 19
13. **Berechnung von Drehfedern** .... 20 - 21
14. **Vergütung durch Kugelstrahlen** 22



Verfasser:
Max Nüsser
Maschinenbaumeister



Co-Autor:
Christian Neumann
Betriebsleitung
Industriemarketing



Co-Autor:
Fabian Kleine
Maschinenbau Student

Anmerkung des Verfassers:

Dieses Skript ist keine wissenschaftliche Verfassung, sondern basiert auf Jahrzehnte langer praktischer Erfahrung in der Federnindustrie.

„In der Schule des Lebens ist man stets ein Schüler“



1. Historische Federentwicklung



Abbildung 1: Die Warnung an David, AT

Federn können als eines der ältesten Konstruktionselemente angesehen werden.

Federmaterialien bestanden vor Jahrhunderten aus Sehnen oder Tierhäuten, deren Federungseigenschaften zur Jagd oder für kriegerische Waffen verwendet wurden.

Die Federtechnik hat über Jahrhunderte einen rasanten Verlauf genommen.

Heute werden Federn überwiegend aus Stahl oder Kupferknetlegierungen hergestellt.



2. Was ist eine Feder?

Die Feder ist ein Energiespeicher, der die eingebrachte Energie auf Abruf weiterleitet.

Wo der Konstrukteur keine technisch kostengünstige, mechanische Lösung findet, wird er sich einer Feder bedienen.
Das darf gerade nicht dazu führen, dass bei der Konstruktion die Feder vernachlässigt wird.

Bei Neuentwicklungen unter Berücksichtigung einer Feder, sollte der Federhersteller in den Konstruktionsprozess eingebunden werden. Somit nutzt der Konstrukteur die Erfahrung des Herstellers und kann kostengünstig entwickeln.

Der Hersteller kennt seinen Maschinenpark und die damit verbundenen Fertigungsmöglichkeiten.

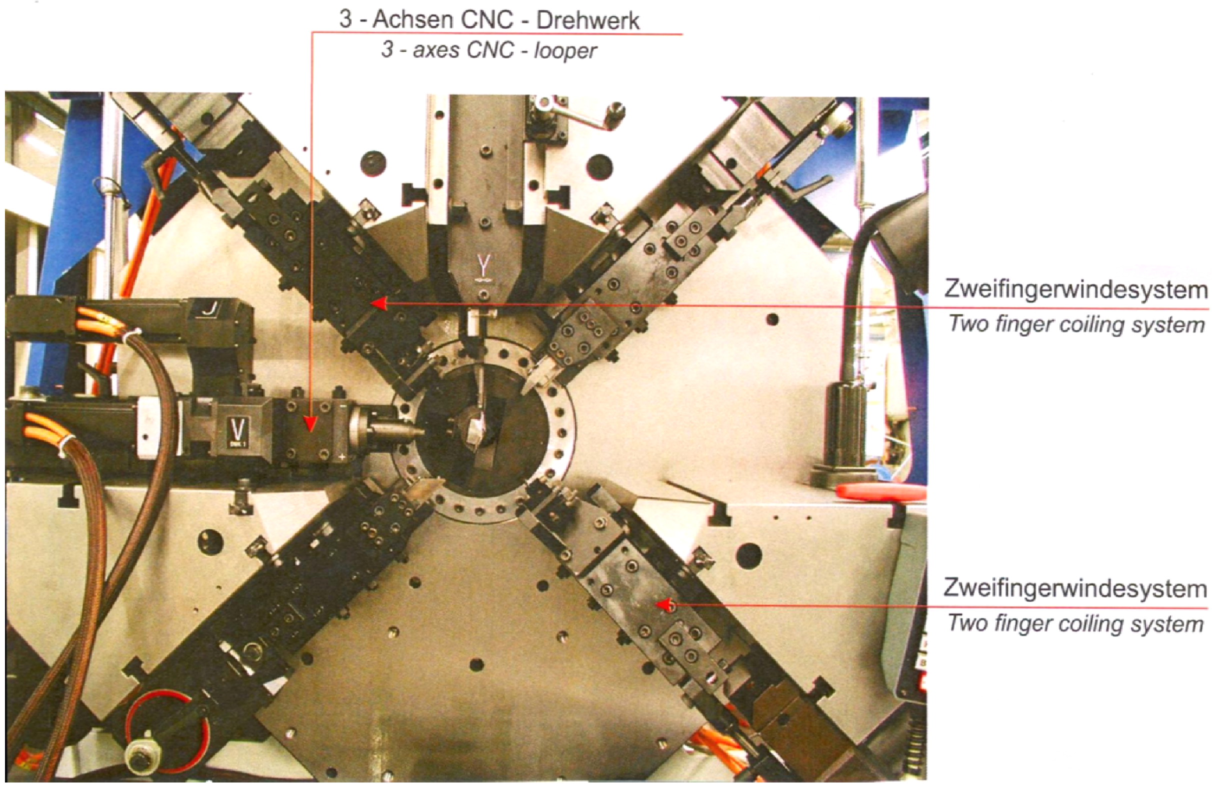


Abbildung 2: CNC-Wickel- und Biegezentrum Typ FMU2 der Firma Wafios

Das CNC-Wickel- und Biegezentrum FMU2 dient zur Herstellung von Federn mit beliebigen Schenkelabbiegungen und Biegeteilen nach dem Wickel und Windeverfahren.



3. Wo werden Federn eingesetzt?

Im Fahrzeugbau, in der Schlossindustrie, in der Elektroindustrie, in der Unterhaltungselektronik, in der Weißwarenindustrie, im Apparatebau sind technische Federn ein kostengünstiges Bauelement.

Als Konstruktionselement werden Federn in ihrer Bedeutung oftmals unterschätzt.

Bei Vernachlässigung oder mangelhafter Berechnung der Federn kann es zu erheblichen Funktionsstörungen kommen. Eine Funktionsstörung, respektive ein Federbruch kann im Extremfall zu Rückrufaktionen mit damit verbundenen erheblichen Kosten führen.

Um eine betriebssichere Funktion zu gewährleisten, muss der Konstrukteur im ersten Schritt die Art der Feder mit dem entsprechenden Material wählen.



4. Federarten

Bei der Berechnung von Federn gilt es, zwei Spannungsarten zu berücksichtigen:

- Die maximale Schubspannung = τ_0 sollte $R_m \times 0{,}5$ nicht überschreiten.
- Die maximale Biegespannung = σ_0 sollte $R_m \times 0{,}7$ nicht überschreiten.

R_m = min. Zugfestigkeit des Federstahldrahtes (nach Tabelle)

Schubspannungen
Bei der Federungsarbeit, bzw. Belastung treten bei Druckfedern und Zugfedern Schubspannungen = τ auf.

Biegespannungen
Bei der Federungsarbeit, bzw. Belastung treten bei Drehfedern Biegespannungen = σ (Sigma) auf.

Die Arten von Federn sind nach Kraftwirkungen eingeteilt:

- Druckkraft: Schraubendruckfeder
Tellerfeder
Flachformfeder
(Bedingt auch Formfedern)
- Zugkraft: Schraubenzugfedern
Zugstab
- Drehmomente: Drehfedern
Drehstabfedern
Spiralfedern



5. Federstähle

Die meisten Drahtfedern werden aus „patentiert gezogenem Federstahldraht“ hergestellt.
Das Material ist in mehrere Güteklassen eingeteilt.

Die Güteklassen beziehen sich auf Zugfestigkeit, Reinheit = Oberflächenfehler, Genauigkeit des Draht-Durchmessers, Rundheit und Drallfreiheit.

Das kaltgezogene Material ist in Nenndurchmesser-Bereichen (Materialstärke) von 0,07 bis 20 mm zu beziehen.

Je dünner die Materialstärke, desto größer die Zugfestigkeit des Materials in N/mm^2 (Prinzip eines Drahtseils)

Das Material hat einen Elastizitätsmodul von 210.900 N/mm^2 und einen Gleitmodul von 81.400 N/mm^2.

Warmgewalzte Stähle für vergütete Federn

Bei den in dieser Norm erfassten Stählen handelt es sich um legierte Edelstähle.
Die Auswahl der Stahlsorte ist Aufgabe des Bestellers.



6. Federstahl aus nichtrostenden Stählen

Als nicht rostend gelten Stähle, die sich durch besondere Beständigkeit gegenüber chemisch angreifenden Stoffen auszeichnen.

Die gebräuchlichsten Stahlsorten sind:

Kurzname:	***Werkstoffnummer:***
X10 Cr Ni 188	1.4310
X5 Cr Ni Mo 17-12-2	1.4401
X7 Cr Ni Al 177	1.4568

X10 Cr Ni 188 ist wie folgt zu lesen:

X	=	Hochlegiert
10	=	Kohlenstoffgehalt geteilt durch 100
188	=	18% Cr (=Chrom), 8% Ni (=Nickel)

Werkstoff	***Elastizitätsmodul***	***Gleitmodul***
1.4310	190300 N/mm^2	73575 N/mm^2
1.4401	185400 N/mm^2	73575 N/mm^2
1.4568	197200 N/mm^2	78480 N/mm^2

Achtung:
Bedingt durch Aluminiumlegierung lässt sich das Material 1.4568 in den Wickelstiften schlecht verformen (Riefenbildung).

Anmerkung:
Bei der Berechnungsgleichung der Federkraft einer Zug- sowie Druckfeder, wird nicht die Zugfestigkeit des Materials, sondern des G-Moduls berücksichtigt.

Bei der Berechnungsgleichung der Drehfedern auf Drehmomente fließt der E-Modul in die Berechnung ein.



Feuerverzinkter Federstahldraht

Aus Kostengründen wird auch feuerverzinkter Federstahldraht eingesetzt. Wo die technischen Anforderungen einer Feder hinsichtlich Drehmomente, Federkräfte, Dauerfestigkeit nicht hoch sind, kann feuerverzinkter Federstahldraht eine echte Alternative zu „Nirosta (1.4310)" sein.

Da jedoch feuerverzinkter Federstahldraht bei der Verformung je nach Wickelverhältnis Schwierigkeiten bereiten kann, sollte der Einsatz dieses Materials mit dem Federhersteller besprochen werden.

Federn aus Kupferlegierungen

Federn aus „Kupferknetlegierungen", wie Berylliumbronze oder Federbronze haben bestimmte Einsatzbereiche und sind mit dem Federhersteller zu besprechen.



7. Anlassen von Federn

Durch das Verformen des Drahtes zur Feder verliert das Material je nach Wickelverhältnis $W = \frac{D_m}{d}$ bedingt durch Gefügeveränderungen an Zugfestigkeit.

Durch das Anlassen auf 300°C wird der Festigkeitsverlust wieder stark verbessert, erreicht jedoch nicht die Ausgangsfestigkeit.
Vom Konstrukteur zu berücksichtigen ist die Durchmesserveränderung der Federkörper nach dem Anlassen. Bei Schenkelfedern bedeutet dies eine Veränderung der Schenkelstellung und somit Veränderung der Drehmomente.

Bei austenitischen Federn wird durch Anlassen in Folge der Erhöhung des Martensitanteils und der Karbidausscheidung das Volumen größer.

Bei Federstahldraht liegt eine vollmartensitische Struktur vor. Durch das Anlassen vermindert sich die Zwangslösung von Kohlenstoff, wodurch das Martensitvolumen abnimmt und sich Karbide bilden, die jedoch kleiner sind als die Abnahme des Martensitvolumens. Dies führt zu einer Durchmesserabnahme.

Bedingt durch unterschiedliche Ziehfette und Auftragungen von gleitgünstigen Oberflächen, sind Verfärbungen der Federn, nach dem Anlassen möglich.

Beachten sie:
Eine entsprechende Aussage über die Anlasstemperatur gibt nur die Schnittfläche.



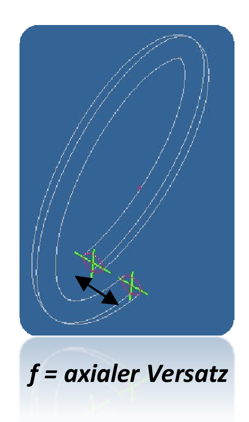
8. Drallprüfung

Der Draht muss „drallfrei“ sein.

Diese Anforderung gilt für Draht unter 5mm Durchmesser als erfüllt, wenn die folgende Bedingung eingehalten ist:

Ein einzelner der Einheit entnommener und frei an einem Haken aufgehängter Drahtumfang kann an den Enden des Drahtumfanges einen axialen Versatz „f“ aufweisen. Dieser Versatz „f“ darf nicht größer sein, als durch folgende Gleichung gegeben:

$$f < \frac{0{,}2 \times D}{\sqrt[4]{d}}$$


f = axialer Versatz

$f =$ axialer Versatz [mm]
$D =$ Durchmesser eines freien Drahtumfanges [mm]
$d =$ Drahtdurchmesser [mm]

Qualitätsprüfungen an Materialien durch den Federhersteller

Die Prüfungen sollten nach DIN erfolgen und sind mit dem Materialhersteller abzusprechen.

Prüfkriterien:

- Materialdurchmesser
- Unrundheit des Materials
- Oberflächenbeschaffenheit
- Drallprüfung
- Verwindeversuch
- Zerreißversuch (Zugfestigkeit)

Die Zugfestigkeit darf nur am vollen Drahtdurchmesser ermittelt werden (Zerreißversuch)!

Beachten sie:
Brinell, Vickers oder Rockwellprüfung geben keine exakte Aussage über die Zugfestigkeit des Materials und sind deshalb nicht zulässig.



9. Herstellung von Federn

Die Qualität und die Anforderungen an eine Feder hängen ganz wesentlich von einer gelungenen Konstruktion, von der idealen Fertigungsmöglichkeit des Herstellerbetriebes, sowie von der Wahl des geeigneten Materials ab.

Besonders bei Neuentwicklungen sollte der Konstrukteur mit einem Federhersteller eng zusammenarbeiten, der den Konstrukteur mit seinem fachlichen Know-How unterstützt und ihm mit einem modernen Maschinenpark zur Seite steht.
Missverständnisse, sowie preistreibende Änderungen können durch eine kooperative Zusammenarbeit zwischen Konstrukteur und Hersteller beseitigt, bzw. deutlich minimiert werden.

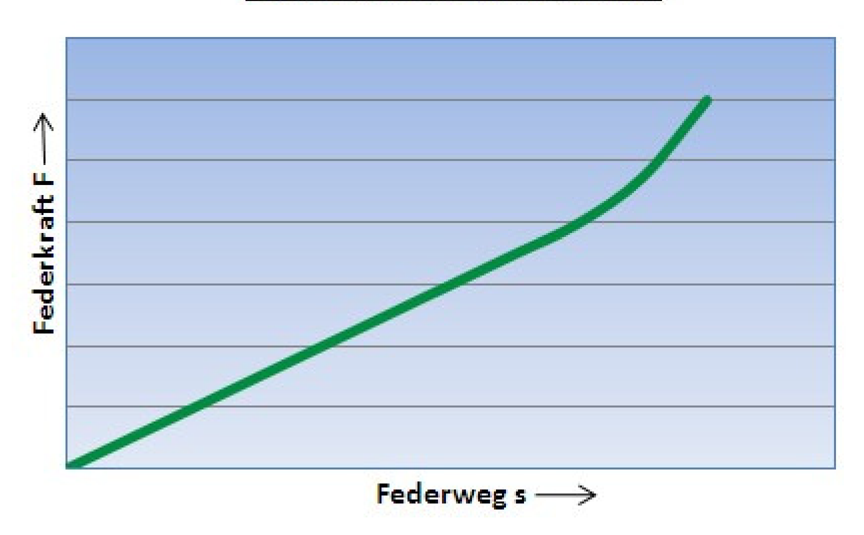
Fertigung auf modernen Maschinen
Druckfedern, Zugfedern, Formfedern, Biegefedern, sowie Drehfedern werden vollautomatisch auf mehrachsigen CNC gesteuerten Maschinen hergestellt.

Fertig fallend produzieren
Eine etwaige Nacharbeit, z.B. durch einen manuellen Biegevorgang im 2. Arbeitsschritt ist kostentreibend und damit tabu (sollte nur in absoluten Ausnahmefällen zum Einsatz kommen).

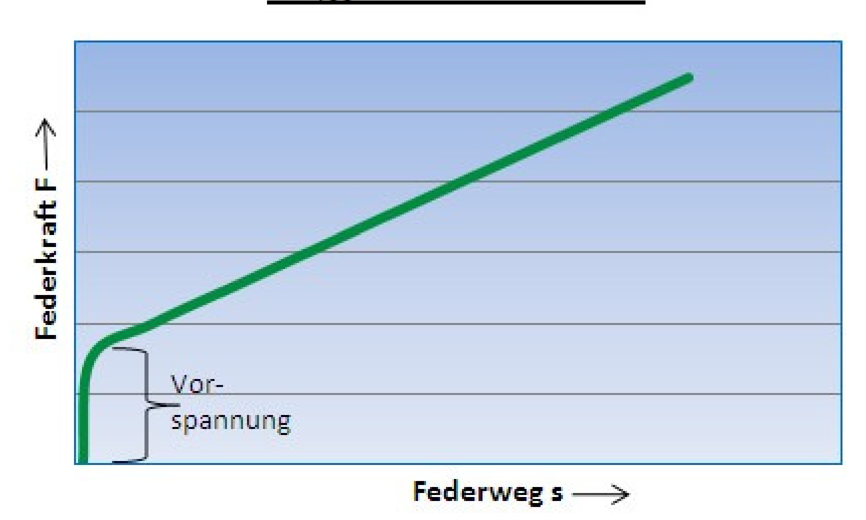
Qualität
Qualität kann auch in der modernen Federnproduktion nicht „eingeprüft" werden, sondern muss vom Herstellerbetrieb produziert werden.



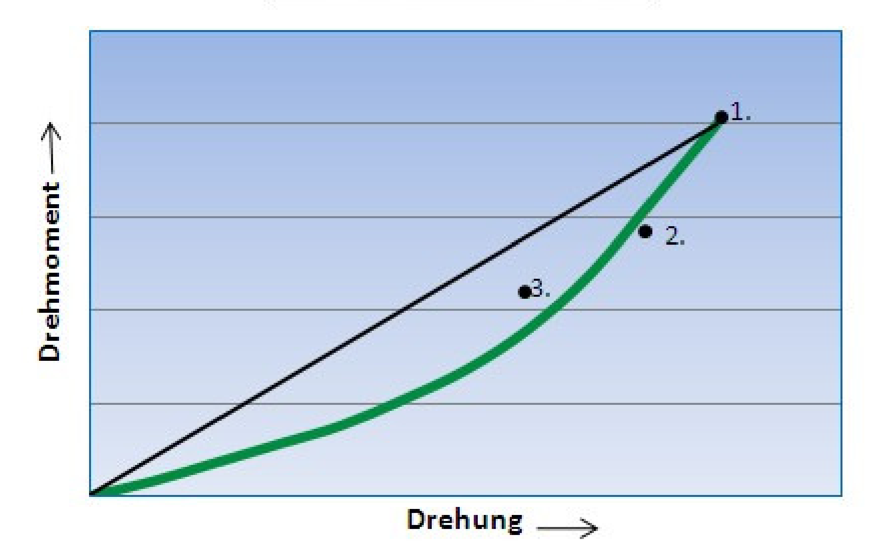
10. Federkennlinien



Druckfeder
Endwindungen angelegt. Verlauf ist konstant bis leicht progressiv. Wenn die Feder im L_n-Bereich belastet wird, verringern sich die federnden Windungen.



Zugfeder mit eingewundener Vorspannung

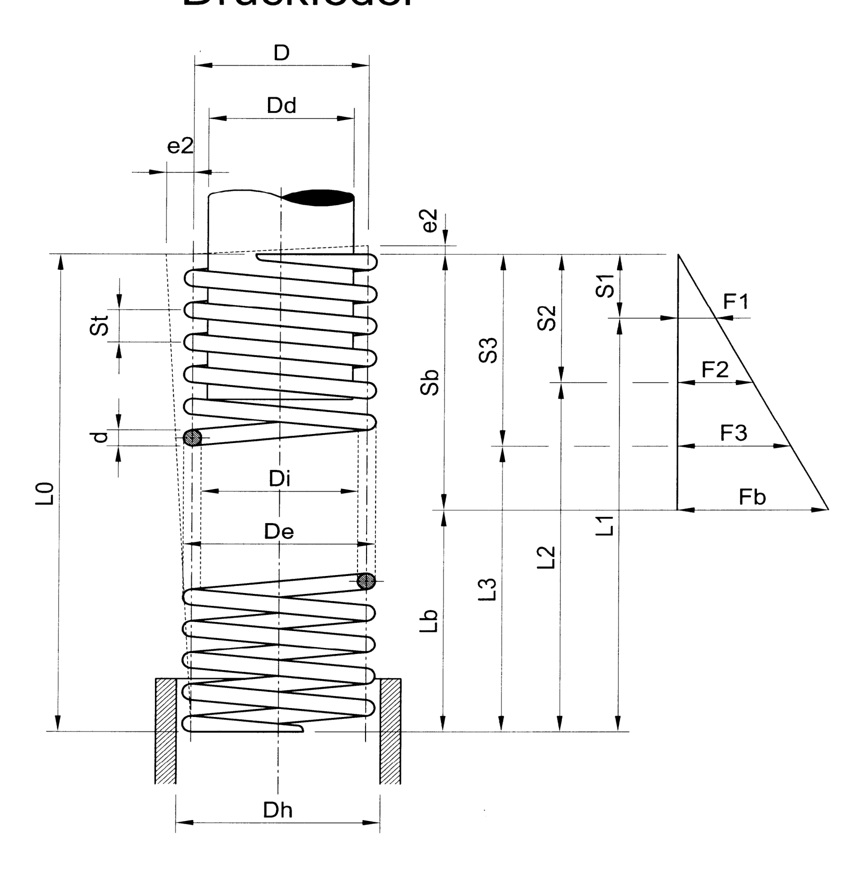


Drehfeder
1 = Belastungsmoment
2 = Entlastungsmoment
3 = Mittelwert
(Belastungsmoment – Entlastungsmoment = Reibung)



11. Darstellung und Berechnung einer Druckfeder

Druckfederdiagramm (Enden angelegt und geschliffen)



Federkraft $F = \frac{G \times d^4 \times s}{8 \times D^3 \times n}$

F	=	Federkraft [N/mm]
G	=	Gleitmodul [N/mm²]
d	=	Durchmesser des Materials [mm]
s	=	Federweg [mm]
D	=	mittlerer Windungsdurchmesser [mm]
n	=	Anzahl der wirksamen Windungen



Schubspannung: $\tau = \frac{8 \times D \times F}{\pi \times d^3}$

L1 = F1 = $\tau_{\text{Unterspannung}}$

L2 = F2 = $\tau_{\text{Oberspannung}}$

} $\tau_{\text{Hubspannung}}$

$\tau_{\text{Oberspannung}}$ $0{,}5 \times R_m$ und τ Hubspannung sollte nicht überschritten werden. Der Spannungsausschlag τ_H sollte möglichst gering gehalten werden.

Windungsrichtung
Wenn keine besonderen Angaben bestehen, werden Druckfedern rechts gewickelt. Die Wickelrichtung, bzw. Windungsrichtung ist rechts wenn die Windungen im Uhrzeigersinn verlaufen. Bei Blickrichtung auf den Federkörper steigen die Windungen nach rechts an.

Schleifen der Federenden
Um eine bessere Auflagefläche zu ermöglichen, die den Druck gleichmäßig weiterleitet, sollten Druckfedern ab einer gewissen Materialstärke und einem bestimmten Wickelverhältnis geschliffen werden.

Eine frühe Relaxation, bedingt durch Spannungsüberschreitung, lässt sich durch Anlassen bei ca. 300°C vermeiden.

Festlegen der Windungszahlen

Länge Block:	6 Windungen = 7 Materialstärken
6 Windungen, geschliffen:	6 Materialstärken
rechnerisch 6 Windungen ges.:	4,5 Windungen federnd

Fertigungsablauf:
Beispiel für einen Fertigungsablauf auf einem CNC gesteuerten Federwindeautomaten für hochbeanspruchte Druckfedern ab einer Drahtstärke von mindestens d = 1,0mm.

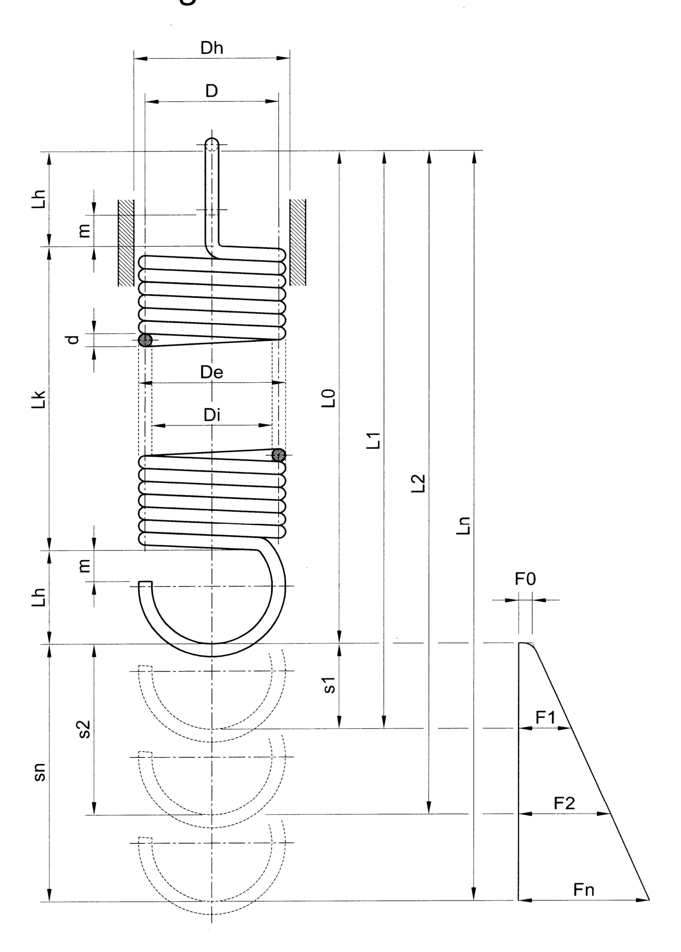
In Großserie kann die folgende Fertigungs-Reihenfolge auf einer Fertigungsstraße erfolgen.

1. Druckfeder auf CNC Federwindeautomaten mit Längenmessung fertigen.
2. Anlassen auf ca. 300°C
3. Setzen der Feder mit $1{,}5\ x\ F_n$
4. Federenden schleifen
5. Kugelstrahlen
6. Federn aus Federstahl nach EN 10270-1 sollten nach dem Kugelstrahlen leicht geölt werden, um „Flugrost“ zu vermeiden. Bei legiertem Federstahl nach EN 10270-3 ist dieser Fertigungsschritt nicht nötig.



12. Darstellung und Berechnung einer Zugfeder

Zugfederndiagramm



Federkraft: $F = \frac{G \times d^4 \times s}{8 \times D^3 \times n}$ (Ohne innere Vorspannung)

Innere Vorspannkraft: $F_0 = F - s \times R = F - \frac{G \times d^4 \times s}{8 \times D^3 \times n}$

F	=	Federkraft [N/mm]
G	=	Gleitmodul [N/mm²]
d	=	Materialdurchmesser [mm]
s	=	Federweg [mm]
D	=	Mittlerer Windungsdurchmesser [mm]
R	=	Federrate [N/mm]



Schubspannung: $\tau = \frac{8 \times D \times F}{\pi \times d^3}$

L_0	=	F_0	=	Vorspannung		
L_1	=	F_1	=	$\tau_{Unterspannung}$	}	$\tau_{Hubspannung}$
L_2	=	F_2	=	$\tau_{Oberspannung}$		

$$\tau_{Oberspannung} = 0{,}5 \times R_m$$
$$Je\ nach\ \ddot{O}senform = 0{,}3 \times R_m$$

$\tau_{Hubspannung}$ sollte möglichst gering gehalten und nicht überschritten werden.

Zur Überleitung der Federkraft dienen die Ösen. Je nach Verwendungszweck sollte die Ösenform gewählt werden. Die Ausführung der Ösen hat einen erheblichen Anteil auf die Lebensdauer der Feder. Zu kleine Radien (< Material) und Werkzeugmacken durch Biegen sind unbedingt zu vermeiden.

Ausführung ganze deutsche Öse



Die Öse darf achsial nicht über den Federkörper stehen. Weitere Ösenformen sind der DIN 2097 zu entnehmen.

Das Wickelverhältnis sollte > 5 gewählt werden.

Vorspannung:
Die Vorspannung ist die Kraft, mit der die Windungen aneinander liegen. Sie ist abhängig von der Materialqualität, dem Wickelverhältnis und der Fertigungstechnik.

Mit ansteigender Anlasstemperatur nimmt die Vorspannung ab.

Exakte Messung der Vorspannung:
Federwege nach Geometrie der Feder frei wählen.

1. Schritt: Bestimmung von F1
2. Schritt: Bestimmung von F2
3. Schritt: Rechne F1 x 2
4. Schritt: Rechne (F1 x 2) – F2 = <u>Vorspannung</u>



13. Berechnung von Drehfedern

Die Herstellung von Drehfedern (Schenkelfedern) stellt an den Maschineneinsteller höchste praktische Anforderungen. Oftmals muss der Konstrukteur technische Richtlinien verlassen, um durch eine Drehfeder mit den unterschiedlichen Biegungen in einem geringen Einbauraum die Funktion eines Apparates zu gewährleisten.
Eine entsprechende Feder ist kostengünstiger als ein Werkzeug zu ändern.
Hier ist jedoch das Know-How des Federherstellers gefragt.

Drehfedern werden häufig „paarig“ d.h. spiegelbildlich benötigt

Bei der Herstellung unterscheidet man grundsätzlich zwei Verfahren:

- Das Wickeln auf einem Dorn
- Das Winden von außen mit Wickelstiften

Das Wickelverhältnis $W = D_m/d$ des Federkörpers sollte > 5 sein.

Bei Drehfedern treten σ = Biegespannungen auf.

Die Drehmomente werden in Nmm angegeben, die Federrate in Nmm/°
(siehe Berechnung Drehfedern)

Die Federkraft, bzw. das Drehmoment muss aus dem Körper kommen. Die Feder darf weder achsial, noch radial auf Block gefahren werden.

Auch die Durchbiegung der Schenkel wirkt sich negativ auf die Lebensdauer aus.

Das führt in Fachkreisen zu folgendem Dialog:

„Die Herstellung von Druckfedern kann Jedermann,

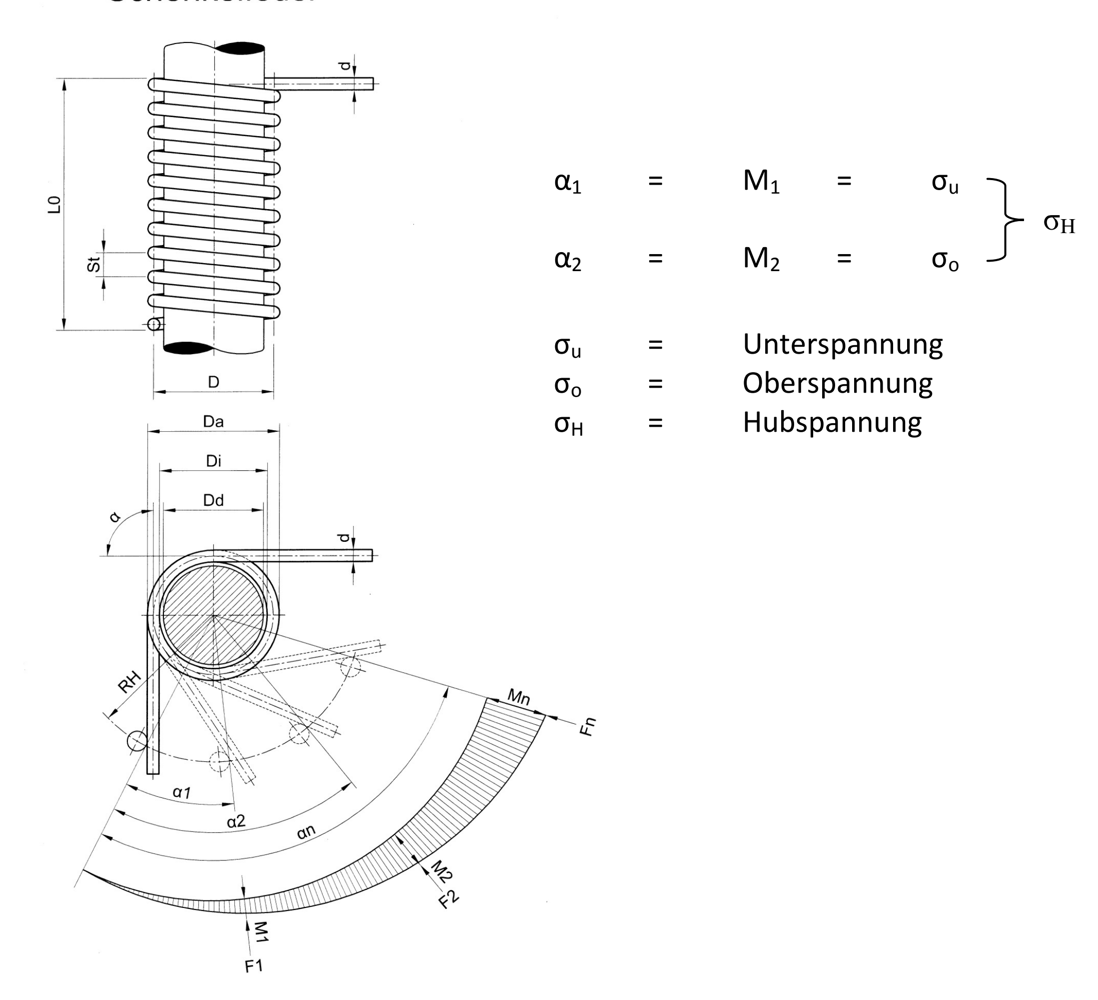
von Zugfedern, der etwas kann,

Dreh- und Formfedern, der etwas ersann“.

(Dies sollte aber ein kleines Geheimnis unter Fachleuten bleiben)



Berechnung einer Drehfeder



α_1 = M_1 = σ_u

α_2 = M_2 = σ_o

σ_u, σ_o } σ_H

σ_u = Unterspannung
σ_o = Oberspannung
σ_H = Hubspannung

Bei allen Berechnungsgleichungen ist der Drehwinkel im Gradmaß angegeben.

Federmoment:

$$M = F \ x \ R$$

$$F = M/R$$

$$M = \frac{d^4 \times E \times \alpha}{3{,}667 \times D \times n}$$

Biegespannung $= \sigma$

$$\sigma = 10{,}19 \frac{M}{D^3}$$

M	=	Federmoment [Nmm]
D	=	mittlerer Windungsdurchmesser [mm]
E	=	Elastizitätsmodul [N/mm²]
α	=	Drehwinkel in Grad [°]
n	=	Anzahl der wirksamen Windungen
d	=	Drahtdurchmesser [mm]



14. Vergüten der Dauerfestigkeit durch Kugelstrahlen

Die hier aufgezeigte Erfahrung basiert auf Strahlen in einer Schleuderradanlage.

Federn aus patentiert gezogenen Federstahldraht bis 4,0 mm und einer Zugfestigkeit von etwa 1.900 N/mm^2, lassen sich durch Kugelstrahlen nicht „Verfestigen“, sondern „Oberflächen-Verdichten“.

Mit einem arondierten Stahldrahtkorn von 0,5 bis 0,7 mm Durchmesser und einer Abwurfgeschwindigkeit von 40 m/s wird eine kinetische Energie erreicht, die Druckeigenspannung erzeugt und leichte Riefen auf der Oberfläche „zuhämmert“.
Der Sättigungsgrad von mindestens 90% muss über die Strahlzeit geregelt werden.

Kontrolliert wird der Überdeckungsgrad mit einem Stereomikroskop bei 40-facher Vergrößerung.

Eine Aussage über die Verlängerung der Lebensdauer in % ist nicht möglich, bzw. „Unsinn“.

Je schlechter das Vormaterial, je größer die Steigerung der Dauerfestigkeit in %.

Hoch beanspruchte Technische Federn sollten durch „Kugelstrahlen“ vergütet werden.

Langjährige Erfahrungen und Dauerversuche haben häufig wirkungsvolle technische Ergebnisse durch Kugelstrahlen bestätigt.



Das Team der Reiner Schmid Produktions GmbH freut sich auf eine Zusammenarbeit mit Ihnen und gerne unterbreiten wir Ihnen ein kostenloses Angebot bezüglich Ihrer Anfrage nach technischen Federn.

Unser Team aus Fachleuten steht Ihnen für eine umfassende technische Beratung nach Terminabsprache bereit.

Anfragen können Sie jederzeit telefonisch, per Fax oder Email an uns richten.



Reiner Schmid
Produktions GmbH
Technische Federn und Drahtbiegeteile
Neptunstraße 50 – 54 42699 Solingen
Fon: 0212/320705 Fax: 0212/320823
Info@schmid-federn.de www.schmid-federn.de



